



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Gebrauchsmuster**  
⑩ **DE 298 21 223 U 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 F 1/68**  
G 01 K 11/32  
// G 01 M 3/38

②① Aktenzeichen:	298 21 223.4
②② Anmeldetag:	27. 11. 98
④⑦ Eintragungstag:	1. 4. 99
④③ Bekanntmachung im Patentblatt:	12. 5. 99

DE 298 21 223 U 1

⑤⑥ Innere Priorität:  
198 25 500. 4      08. 06. 98

⑦③ Inhaber:  
GTC Kappelmeyer GmbH, 76131 Karlsruhe, DE

⑤④ Vorrichtung zur Messung von Fluidbewegungen mittels Lichtwellenleiter

DE 298 21 223 U 1

## Beschreibung

### **Vorrichtung zur Messung von Fluidbewegungen mittels Lichtwellenleiter**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erfassen und/oder Lokalisieren von Fluidbewegungen in einem für Fluide zumindest in Teilbereichen durchlässigen Medium, wobei die Fluidbewegungen in dem durchsickerten und/oder durchströmten Medium mit einem Wärmetransport verbunden sind und dadurch verursachte Temperaturanomalien in einem Temperaturprofil auftreten, umfassend mindestens einen Lichtwellenleiter als Temperatursensor in einem durchlässigen Medium zur Ermittlung von durch Fluidbewegungen verursachten Temperaturanomalien in einem Temperaturprofil längs des Lichtwellenleiters.

Dem Erkennen, Erfassen und Lokalisieren von Fluidbewegungen in Form von Durchsickerungen und/oder Durchströmungen durch ein für Fluide zumindest in Teilbereichen durchlässiges Medium kommt in vielen Bereichen große Bedeutung zu. Wichtige Beispiele für derartige Medien stellen der Erdboden und/oder Baumaterialien verschiedenster Art dar. Häufig dient das Erfassen und Lokalisieren der nachzuweisenden Fluidbewegungen dem Erkennen von ungewollten Fließbewegungen. Dies ist beispielsweise bei der Leckortung an fluidführenden Leitungssystemen (z.B. Wasser, Gas, Öl, Abwasser, Chemikalien, Fernwärme), bei der Schadstellenortung im Wasserbau (z.B. Talsperren, Dämme, Deiche, Schleusen), bei der Ortung von Schäden an Abdichtungen (z.B. Deponiedichtungen, Tanks, Speicherbecken) und bei der Überwachung von Sonderabfällen (z.B. Endlager) der Fall.

Es ist seit vielen Jahren bekannt, zu diesem Zweck Temperaturmessungen einzusetzen. Die Temperatur des Fluids dient dabei als Tracer für die nachzuweisenden Fließbewegungen.

Temperaturmessungen unter Verwendung von Lichtwellenleitern als thermische Sensoren bzw. Temperatursensoren sind an sich ebenfalls bekannt. Diese bieten den Vorteil, daß entlang eines bis zu mehreren Kilometer langen Lichtwellenleiters (z.B. Glasfaserleitung) Temperaturprofile gemessen werden können.

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster DE 93 18 404 U1 ist eine Einrichtung zum Bestimmen von Temperaturen unter Zuhilfenahme von Lichtwellenleitern bekannt. Dabei wird die Temperaturabhängigkeit der Rückstreuung in Lichtwellenleitern ausgenutzt und zur Überwachung der Temperaturentwicklung in Deponien verwendet. Nach der DE 93 18 404 U1 kommen als flächiges Gebilde mit Mäanderform angeordnete Lichtwellenleiter, aber auch in Schneckenform, nach Art konzentrischer Kreise oder mit Überkreuzungen angeordnete Lichtwellenleiter zum Einsatz. Der Lichtwellenleiter kann auch innerhalb der Deponie in je einer unterhalb und oberhalb der abdichtenden Basistonschicht angeordneten Meßebeane verlegt werden. Aus den gemessenen Temperaturwerten kann der geothermische Gradient und die thermische Diffusivität im Bereich der abdichtenden Basistonschicht und aus den Werten der thermischen Diffusivität das räumliche und zeitliche Verhalten der Dichtheit der abdichtenden Basistonschicht bestimmt werden. Die Erfassung von Fluidströmungen - etwa Aussickerungen von Wasser aus dem Innenbereich der Deponie in den Außenbereich der Deponie - werden in DE 93 18 404 U1 allerdings nicht erwähnt und betrachtet.

Aus der deutschen Patentanmeldung DE 40 19 980 A1 ist eine Temperatursensoranordnung bekannt, die über eine Faseroptik verteilt ist und Raman-Streulicht ausnutzt.

In jüngerer Zeit werden die Temperaturmessungen zum Erfassen und Lokalisieren von Fluidbewegungen auch mittels faseroptischer Meßsysteme durchgeführt.

Die deutsche Patentschrift 195 06 180 C1 beschreibt ein Verfahren zur Kontrolle und Überwachung der Dichtigkeit von Deichen, Dämmen, Wehren oder dergleichen Wassersperrbauwerken mittels Sensoren, wobei die Temperaturverteilung längs des Deiches oder dergleichen im binnenseitigen Bereich unterhalb der Deich-(Damm)krone ermittelt wird und anhand der Temperaturverteilung über einen vorgegebenen Zeitabschnitt bei festgestellter Anomalie Ort und Art einer vorhandenen Leckage (Undichtigkeit) bestimmt werden. Es wird die Temperaturverteilung längs des Deiches mittels eines faseroptischen, mit Laserlicht beaufschlagten Sensorkabels unter Anwendung einer Laufzeit- und Intensitätsauswertung des rückgestreuten Laserlichtes gemessen.

Aus der deutschen Patentanmeldung DE 196 21 797 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Leckageüberwachung an Objekten und Bauwerken, insbesondere an Dämmen, Deichen,

Uferbefestigungen, Klärbecken, sonstigen Wasserbauwerken, Speicher- und Rückhalteeinrichtungen für Flüssigkeiten und dergleichen, durch Ermitteln von thermischen Parametern im Boden mittels thermischer Sensoren bekannt, wobei als passive Temperatursensoren ein oder mehrere Lichtwellenleiter eingesetzt werden und im Falle einer Leckage das Leck durch Ermitteln der Temperaturänderungen im Leckagebereich erfaßt wird. Die Lichtwellenleiter werden im wesentlichen schlaufenförmig mit vertikal verlaufenden Schlaufenästen, in Hydraulik-Leitungen, in Hohlrohren oder in Schläuchen oder in durch ein Horizontalbohrverfahren verlegten Rohren angeordnet.

Die Anwendung dieser Verfahren setzt jedoch voraus, daß sich die Temperatur des strömenden und/oder sickern den Fluids von der Temperatur des Mediums in der Umgebung des Lichtwellenleiters unterscheidet und zwar mit der erforderlichen Temperaturdifferenz. In der Praxis ist diese Temperaturdifferenz jedoch häufig nicht oder nicht immer gegeben oder kann nur unter technisch aufwendigen Bedingungen geschaffen werden.

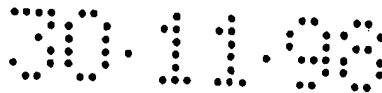
Aus der deutschen Patentschrift DE 41 27 646 C2 ist die Temperaturbestimmung im Erdboden zur Erfassung von Leckagen an Dämmen und sonstigen Uferbefestigungen, zur Erfassung von Aussickerungen aus Deponien, zur Erfassung von Undichtigkeiten in Kanal- und Rohrleitungssystemen, zur Erfassung von aufsteigendem Thermal- und Karstwasser oder zur Erfassung von Abwärmeeinleitungen bekannt. Die Temperaturmessung erfolgt mittels mehrerer in einer Sensorkette angeordneter Sensoren in einem Hohlgestänge aus zylindrischem Rohr mit einer Kegelspitze, wobei die Meßsonden als Temperaturfühler verwendete elektrische Meßwiderstände umfassen. Neben der Temperaturmessung zum Erfassen und Lokalisieren von Fluidbewegungen ist in der DE 41 27 646 C2 außerdem beschrieben, daß zur Bestimmung der Wärme- bzw. Temperaturleitfähigkeit des Bodens im Zusammenhang mit der Ermittlung der Eingangsparameter für die Berechnung von erdverlegten Hochspannungskabeln oder Fernwärmeleitungen oder für allgemeine geothermische Untersuchungen eine gezielte und definierte Erwärmung der Meßsonde über einen Heizdraht vorgesehen sein kann. Dabei wird der Anstieg der Temperatur in der Meßsonde während des Aufheizens der Meßsonde erfaßt, da der Temperaturanstieg proportional zur Wärme- bzw. Temperaturleitfähigkeit des die Meßanordnung umgebenden Bodens ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art aufzuzeigen, die gewährleistet, Fluidbewegungen erfassen und/oder lokalisieren zu können, auch wenn keine oder nur ein verhältnismäßig geringe Temperaturdifferenz zwischen dem Fluid und dem durchlässigen Medium in der Umgebung des Lichtwellenleiters (faseroptischer Temperatursensor) vorliegt, in dem sich das Fluid bewegt. Die Messung sollte dabei einerseits zwar mit der erforderlichen Genauigkeit, aber andererseits auch auf möglichst einfache Art und Weise erfolgen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Mittel zur zumindest zeitweisen Zufuhr von Wärme zum Lichtwellenleiter oder Mittel zum zumindest zeitweisen Entzug von Wärme vom Lichtwellenleiter vorgesehen sind.

Damit wird ermöglicht, daß dem Lichtwellenleiter zumindest zeitweise Wärme zugeführt oder entzogen wird und entweder anhand einer bezogen auf die erfolgte Wärmezufuhr lokal geringeren Erwärmung des Lichtwellenleiters und/oder schnelleren Abgabe der zugeführten Wärme vom Lichtwellenleiter oder anhand einer bezogen auf den erfolgten Wärmeentzug lokal geringere Kühlung des Lichtwellenleiters und/oder schnelleren Aufnahme von Wärme vom Lichtwellenleiter die Fluidbewegungen im durchlässigen Medium detektiert werden.

In der Regel wird die Wärmezufuhr zum Lichtwellenleiter mindestens solange durchgeführt, bis eine Erwärmung mindestens um einen Temperaturbetrag erfolgt, welcher der Temperaturlösung des Lichtwellenleiters entspricht. Typische Werte für die Temperaturlösung liegen bei etwa 0,5 K oder darunter. Üblicherweise wird die Temperatur aber um einen Betrag zwischen 1 und 100 K, vorzugsweise zwischen 5 und 50 K erhöht oder erniedrigt. Der Wärmetransport vom erwärmten bzw. gekühlten Lichtwellenleiter weg wird durch verschiedene physikalische Phänomene hervorgerufen: Zu einem durch reine Wärmeleitung, zum anderen durch advektiven bzw. konvektiven Wärmetransport. In Bereichen des Lichtwellenleiters, in dessen Umgebung Fluidbewegungen auftreten, führen diese neben der reinen Wärmeleitung zu einem advektiven bzw. konvektiven Wärmetransport. In Bereichen, in denen keine oder vergleichsweise geringere Fluidbewegungen vorliegen, ist dieser zusätzlich zur reinen Wärmeleitung stattfindende Wärmetransport gar nicht vorhanden oder deutlich geringer ausgeprägt.



- 5 -

Dies führt dazu, daß sich der Lichtwellenleiter bei Wärmezufuhr in Bereichen ohne oder mit vergleichsweise geringen Fluidbewegungen stärker aufheizt und/oder langsamer die Wärme an die Umgebung abgibt als in vom Fluid durchströmten und/oder durchsickerten Bereichen. Die bezogen auf die erfolgte Wärmezufuhr lokal geringere Erwärmung des Lichtwellenleiters und/oder die bezogen auf die erfolgte Wärmezufuhr lokal schnellere Abgabe der zugeführten Wärme vom Lichtwellenleiter zeigt sich im mit Hilfe des Lichtwellenleiters aufgenommenen Temperaturprofil als Temperaturanomale, über die letztlich die nachzuweisenden Fluidbewegungen erfaßt und/oder lokalisiert werden.

Im alternativen Fall von Kühlung und damit des Entzugs von Wärme vom Lichtwellenleiter kühlt sich der Lichtwellenleiter bei Wärmeentzug in Bereichen ohne oder mit vergleichsweise geringen Fluidbewegungen stärker ab und/oder nimmt langsamer die Wärme aus der Umgebung auf als in vom Fluid durchströmten und/oder durchsickerten Bereichen. Die bezogen auf den erfolgten Wärmeentzug lokal geringere Kühlung des Lichtwellenleiters und/oder der bezogen auf den erfolgten Wärmeentzug lokal langsamere Aufnahme von Wärme durch den Lichtwellenleiter zeigt sich im mit Hilfe des Lichtwellenleiters aufgenommenen Temperaturprofil ebenfalls als Temperaturanomale, mit deren Hilfe die nachzuweisenden Fluidbewegungen erfaßt und/oder lokalisiert werden.

Im Rahmen der Erfindung ist unter einem zumindest in Teilbereichen durchlässigen Medium neben einem einzigen Stoff auch eine Mischung von verschiedenartigen Stoffen in der Umgebung des Lichtwellenleiters zu verstehen, die zumindest teilweise durchlässig ist. Die Durchlässigkeit der Stoffe kann unterschiedlich ausgeprägt sein. Beispiele für ein durchlässiges Medium sind ein poröses Medium, ein Risse, Klüfte und/oder Kanäle aufweisendes Medium und dergleichen. Ist der Lichtwellenleiter in einem einzigen Stoff, in verschiedenartigen Stoffen mit im wesentlichen homogener Durchlässigkeit für Fluide oder in verschiedenartigen Stoffen mit vergleichbaren Wärmeleiteigenschaften eingebettet, so kann aus der Anomalie der Temperaturverteilung längs des Lichtwellenleiters direkt auf eine lokale Fluidbewegung in der Umgebung des Meßpunktes der Anomalie geschlossen werden. Die Temperaturmessungen detektieren in diesem Fall unmittelbar die Fluidbewegungen im Medium, d.h. in dem Stoff oder in den Stoffen in der Umgebung des Lichtwellenleiters. Befindet sich der Lichtwellenleiter in verschiedenartigen Stoffen mit unterschiedlichen Wärmeleiteigenschaften, kann der Fachmann aufgrund von durch seine Fachkenntnis-

se bekannten Erfahrungswerten oder mittels Berechnungen den unterschiedlichen Wärmetransport problemlos bestimmen. Daraus kann dann abgeleitet werden, ob eine Fluidbewegung in der Umgebung des Lichtwellenleiters stattfindet.

Der Lichtwellenleiter wird bevorzugt im wesentlichen über seine gesamte Länge oder über Teilabschnitte erwärmt oder gekühlt. Dann erstrecken sich die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme im wesentlichen über die gesamte Länge oder über Teilabschnitte des Lichtwellenleiters. Die Teilabschnitte sollten dabei längere Teilabschnitte sein, beispielsweise in der Größenordnung von mehreren Metern oder 10er Metern.

Besondere Vorteile sind dadurch zu erzielen, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme einen oder mehrere elektrische Leiter umfassen. Dann wird der Lichtwellenleiter über den oder die elektrischen Leiter erwärmt. Beim Anlegen einer Spannung fließt ein Strom durch den Leiter und bedingt durch den elektrischen Widerstand des Leiters erwärmt sich dieser dabei. Dadurch wird nicht nur der elektrische Leiter sondern auch seine Umgebung und damit der Lichtwellenleiter erwärmt.

Dem Lichtwellenleiter kann auch mittels Wärmetausch über ein Heizfluid Wärme zugeführt oder mittels Wärmetausch über ein Kühlfluid Wärme entzogen werden. Es können eine oder mehrere Leitungen für ein Heiz- oder Kühlfluid zum Wärmetausch mit dem Lichtwellenleiter vorgesehen sein. Der Wärmetausch zwischen Heiz- bzw. Kühlfluid und Lichtwellenleiter erfolgt indirekt.

Die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme können grundsätzlich in jeder geeigneten Art und Weise verlegt sein. Sie können um den Lichtwellenleiter angeordnet sein, beispielsweise ihn umschließen oder ihn in der Art einer Wicklung oder als Geflecht umgeben, oder sie können im wesentlichen parallel zu ihm verlaufen.

Mit Vorteil können die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme, insbesondere der oder die Leiter, als Schutzhülle gegen mechanische Einwirkungen ausgebildet sein. Da in der Praxis die meisten im Außenbereich eingesetzten Glasfaserkabel mit einem metallischen Schutz, beispielsweise einem Schutzgeflecht (Nagetierschutz), umgeben sind, kann dieser metallische Schutz als elektrischer Leiter zur Erwärmung des Lichtwellenleiters genutzt werden. In

30.11.98

- 7 -

diesem Fall übt die Schutzumhüllung eine Doppelfunktion aus. Der materielle Aufwand für die Anwendung der Erfindung kann damit reduziert werden. Außerdem bietet sich die Möglichkeit, in bereits verlegten Lichtwellenleitern mit metallischem Schutz die Erfindung ohne aufwendige Maßnahmen einzusetzen, da im wesentlichen nur die Anschlüsse für den Leiter gelegt werden müssen.

In Weiterbildung der Erfindung können die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme mehrfach im wesentlichen entlang dem Lichtwellenleiter angeordnet und an einem Ende miteinander verbunden sein. Die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme sind dann in einer oder mehreren Schlaufen angeordnet. Beispielsweise können die Mittel zum Erwärmen mindestens zwei sich entlang dem Lichtwellenleiters erstreckende elektrische Leiter umfassen, wobei die Enden dieser mindestens zwei Leiter an einem Ende elektrisch miteinander verbunden sind. Damit bildet die elektrischen Leiter eine oder gegebenenfalls mehrere Heizschlaufen. Der Vorteil liegt darin, daß die elektrischen Anschlüsse für die Leiter an einer Stelle liegen. Sind beispielsweise mindestens zwei elektrische Leiter in ein Kabel integriert bzw. verlaufen im wesentlichen parallel zum Lichtwellenleiter, so können die elektrischen Leiter am von der Lichteinspeisung mittels Laser entfernten Ende miteinander elektrisch verbunden werden und der Lichtwellenleiter muß lediglich an einem Ende für das Anlegen der Spannung und für die Durchführung der Messungen zugänglich sein. Die Anschlüsse für den Lichtwellenleiter und die Anschlüsse für die elektrischen Leiter befinden sich bevorzugt im wesentlichen am selben Ort, sie können aber auch an unterschiedlichen Stellen vorgesehen sein.

Im Rahmen der Erfindung können Lichtwellenleiter auf jede geeignete Art und Weise verlegt sein. Insbesondere können die aus dem zitierten Stand der Technik bekannten Verlegearten gewählt werden.



30.11.98

- 8 -

### Schutzansprüche

1. Vorrichtung zum Erfassen und/oder Lokalisieren von Fluidbewegungen in einem für Fluide zumindest in Teilbereichen durchlässigen Medium, wobei die Fluidbewegungen in dem durchsickerten und/oder durchströmten Medium mit einem Wärmetransport verbunden sind und dadurch verursachte Temperaturanomalien in einem Temperaturprofil auftreten, umfassend mindestens einen Lichtwellenleiter als Temperatursensor in einem durchlässigen Medium zur Ermittlung von durch Fluidbewegungen verursachten Temperaturanomalien in einem Temperaturprofil längs des Lichtwellenleiters, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mittel zur zumindest zeitweisen Zufuhr von Wärme zum Lichtwellenleiter oder Mittel zum zumindest zeitweisen Entzug von Wärme vom Lichtwellenleiter vorgesehen sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme im wesentlichen über die gesamte Länge oder über Teilabschnitte des Lichtwellenleiters erstrecken.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme einen oder mehrere elektrische Leiter umfassen.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme mindestens eine Leitung für ein Heiz- oder Kühlfluid zum Wärmetausch mit dem Lichtwellenleiter umfassen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme den Lichtwellenleiter zumindest teilweise umschließen.

30.11.98

- 9 -

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme als Schutzumhüllung des Lichtwellenleiters gegen mechanische Einwirkungen ausgebildet sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Zufuhr von Wärme oder zum Entzug von Wärme mehrfach im wesentlichen entlang dem Lichtwellenleiter angeordnet sind und an einem Ende miteinander verbunden sind.